

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА ВЧ-ПЛАЗМЫ ПРИ ПОНИЖЕННЫХ ДАВЛЕНИЯХ

A MATHEMATICAL MODEL OF RF PLASMA FLOW AT LOW PRESSURES

А.Ю. Шемахин, В.С. Желтухин

*Казанский (Приволжский) федеральный университет,
Россия, ул. Кремлевская, 18, Казань, shemakhin@gmail.com*

*Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Россия, ул. К.Маркса, 68, Казань, vzheltukhin@gmail.com*

Для исследования процессов в вакуумной камере ВЧ-плазменной установки создана гибридная математическая модель, включающая кинетическое уравнение Больцмана для несущего газа и уравнения неразрывности для частиц плазмы, электронной температуры и электромагнитного поля.

A hybrid mathematical model is developed to study the processes in the vacuum chamber of the RF plasma equipment. The model includes Boltzmann's kinetic equation for the carrier gas and the continuity equations for plasma particles, electron temperature, and the electromagnetic field.

Плазма ВЧ индукционных разрядов пониженного давления (5–150 Па) применяется для модификации различных материалов: диэлектрических, проводящих, полупроводниковых [1]. Плазма, образованная данным видом разряда, характеризуется следующими параметрами: степень ионизации 10^{-7} – 10^{-5} , концентрация электронов $n_e=10^{15}$ – 10^{19} м⁻³, электронная температура $T_e=1$ –4 эВ, температура атомов и ионов в плазменном сгустке $T_a=(3-4) \cdot 10^3$ К, в струе $T_a=(3.2-10) \cdot 10^2$ К.

Для исследования процессов в вакуумной камере ВЧ-плазменной установки создана математическая модель на основе кинетической модели для несущего газа и уравнений неразрывности для электронов, метастабильных атомов и электромагнитного поля.

Для реализации модели разработан гибридный численный метод, который включает в себя модифицированный метод Г.Бёрда для несущего газа [2,3] и метод конечных объемов для заряженной компоненты, метастабильных атомов и электромагнитного поля. Метод реализован с помощью библиотек пакета OpenFOAM [4].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-31-60081.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллин И.Ш. и др. *Модификация нанослоев в высокочастотной плазме пониженного давления*. - Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2007.- 356 с.
 2. Берд Г.А. *Молекулярная газовая динамика*. М.:Мир, 1981.
 3. Zheltukhin, V. S., and A. Yu Shemakhin. *Mathematical Models and Computer Simulations* **6** (2014) 1 101.
- OpenFOAM : Open Source Software for CFD. <https://openfoam.org/>